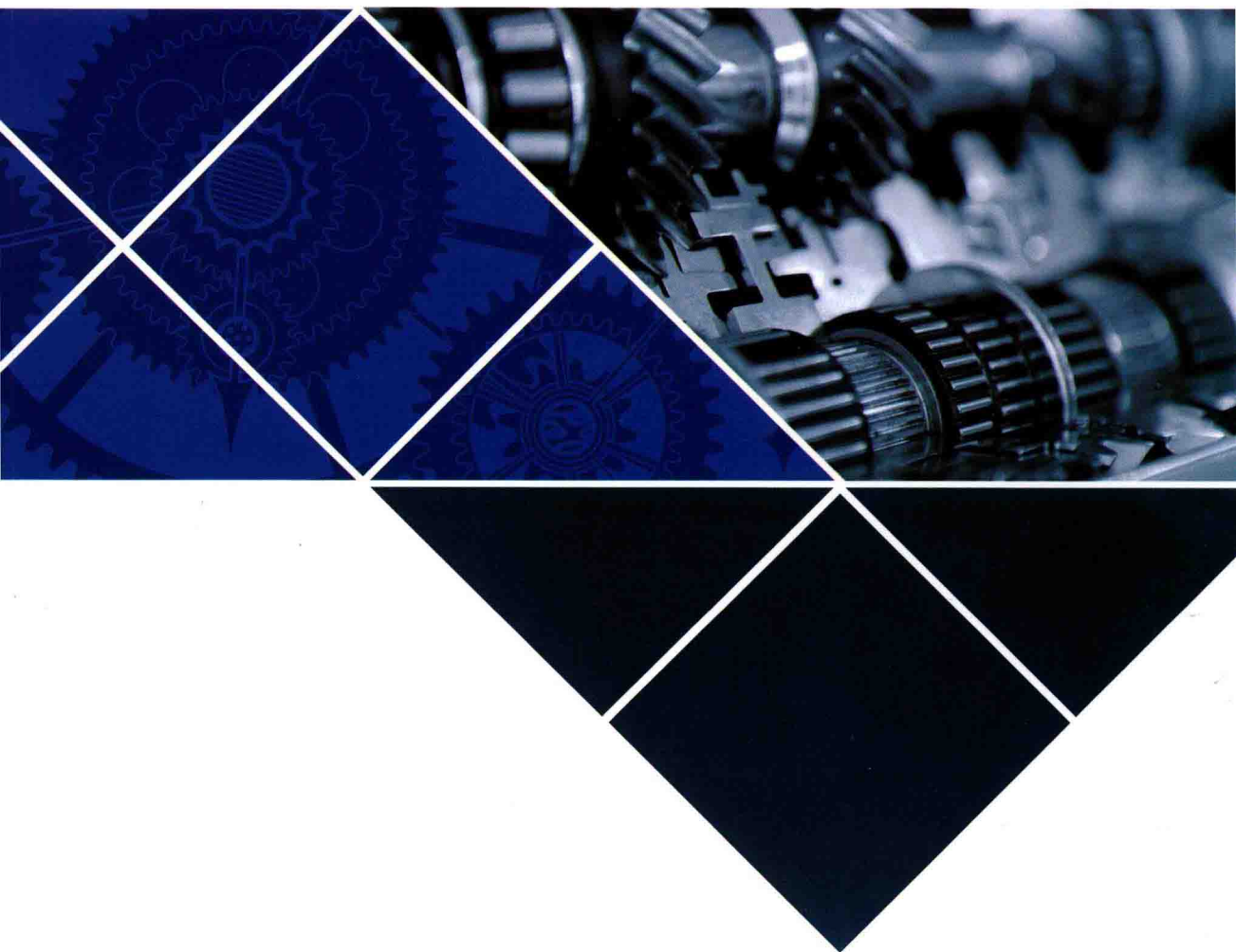


| 高等教育“十三五”部委级规划教材

# 机械制造技术基础训练

主 编 / 原一高

副主编 / 狄 平 陈 铮



東華大學出版社

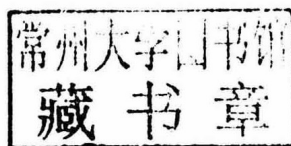
” 部委级规划教材

# 机械制造技术基础训练

主 编：原一高

副主编：狄 平 陈 铮

主 审：徐新成



东华大学出版社·上海

## 内容提要

本书为“工程训练”(金工实习)课程的教材,全书分为5篇15章,内容包括工程材料基本知识、铸造、锻压、焊接、车削、铣削、磨削、刨削、钳工、数控加工基础、数控车削、数控铣削、电火花加工、3D打印和激光加工等。

本教材适合于高等工科院校机械类和近机械类专业本、专科学生“工程训练”课程教学使用,对非机械类专业,可根据其专业特点、学时和后续课程需要,有针对性地选择其中的部分内容组织教学。本书还可作为有关工程技术人员和职业技术学院的教学和自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础训练 / 原一高主编. —上海: 东华大学出版社, 2018. 9

ISBN 978-7-5669-1449-1

I. ①机… II. ①原… III. ①机械制造工艺—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 167388 号

责任编辑: 竺海娟

封面设计: 魏依东

## 机械制造技术基础训练

Jixie Zhizao Jishu Jichu Xunlian

原一高 主编

出版: 东华大学出版社(上海市延安西路 1882 号 邮政编码: 200051)

本社网址: <http://dhupress.dhu.edu.cn>

天猫旗舰店: <http://dhdx.tmall.com>

营销中心: 021-62193056 62373056 62379558

印刷: 常熟大宏印刷有限公司

开本: 787 mm×1092 mm 1/16

印张: 19.25

字数: 490 千字

版次: 2018 年 9 月第 1 版

印次: 2018 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-5669-1449-1

定价: 58.00 元

# 前 言

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。贯彻落实《中国制造2025》对人才培养的要求，加强学生实践和创新能力的培养，打造高素质专业技术人才队伍，对于加快我国经济发展方式的转变，把我国建设成为引领世界制造业发展的制造强国，具有重要意义。

工程训练是我国高校中实施工程教育的实践性公共教育平台，是培养大学生实践和创新能力的重要教育资源。近年来，随着高等院校训练条件的不断改善和实践教学改革的不深入，工程训练内容不仅包括传统机械制造的各种加工工艺技术，而且也包括以数控加工、电火花加工、激光加工和3D打印技术等为代表的现代加工技术。为了适应高等院校“工程训练”课程改革与建设需要，我们在原《金工实习》教材的基础上，借鉴国内兄弟院校的教学改革成果，编写了《机械制造技术基础训练》教材，更加注重训练过程的先进性和实用性。

《机械制造技术基础训练》一书以训练内容的属性分为5篇。第一篇为“工程材料基本知识”，内容包括金属材料及其热处理；第二篇为“热加工”，内容包括铸造、锻压和焊接；第三篇为“传统切削加工”，内容包括车削、铣削、刨削、磨削和钳工等；第四篇为“数控加工”，内容包括数控车削、数控铣削、加工中心等；第五篇为“特种加工”，内容包括电火花加工、3D打印和激光加工等。

本教材的编写力求简明扼要，突出重点，注重基本概念，讲求实用，强调可操作性和便于自学。在各章节的内容编排上，不仅与相应的工程技术基础理论课程相结合，保持知识结构的完整性和系统性，而且通过项目实训，使学生能由浅入深、由易到难、循序渐进地学习各种机械制造工艺知识。另外，在优化传统教学内容的基础上适当地加大了现代制造技术的教学内容，以满足快速发展的现代制造业对人才培养的需求。

本教材适合于高等工科院校机械类、近机械类专业的“工程训练”课程教学使用，对非机械类专业，可根据其专业特点、学时和后续课程需要，有针对性地选择其中的部分内容组织教学。

本教材由东华大学工程训练中心教授、专家编写。编写人员有原一高、狄平、张建国、陈铮、黄小玲等。本教材由上海工程技术大学徐新成教授主审，原一高教授担任主编，狄平、陈铮担任副主编。原一高教授负责全书的统稿与修改工作。

本书内容多、范围广，涉及传统与现代制造技术，由于编者水平所限，书中难免有不足和错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2018年4月6日

# 目 录

## 第一篇 工程材料基本知识

第一章 常用机械工程材料 .....	3
第一节 金属材料的力学性能 .....	3
第二节 常用机械工程材料 .....	7
第三节 钢的热处理 .....	12
复习思考题 .....	15

## 第二篇 热加工

第二章 铸造 .....	19
第一节 砂型铸造 .....	19
第二节 特种铸造 .....	27
复习思考题 .....	30
第三章 锻压 .....	31
第一节 锻造 .....	31
第二节 板料冲压 .....	36
第三节 锻压新技术简介 .....	40
复习思考题 .....	43
第四章 焊接 .....	44
第一节 焊条电弧焊 .....	44
第二节 其他常用电弧焊方法 .....	49
第三节 气焊和气割 .....	50
第四节 压力焊 .....	52
第五节 钎焊 .....	53

第六节	焊接质量分析 .....	54
第七节	焊接新技术简介 .....	56
复习思考题	.....	58

### 第三篇 传统切削加工

第五章	切削加工的基本知识 .....	61
第一节	切削运动与切削用量 .....	61
第二节	金属切削刀具 .....	63
第三节	金属切削过程 .....	68
第四节	切削加工零件的技术要求简介 .....	70
第五节	金属切削机床的基本知识 .....	72
第六节	测量技术简介 .....	75
第七节	夹具 .....	79
第八节	机械加工工艺流程 .....	83
复习思考题	.....	84

第六章	车削 .....	85
第一节	车床 .....	86
第二节	车刀 .....	88
第三节	工件的安装及所用附件 .....	91
第四节	车削操作方法 .....	96
第五节	车削基本工艺 .....	97
第六节	车削实训实例 .....	106
复习思考题	.....	109

第七章	铣削 .....	110
第一节	铣床 .....	111
第二节	铣刀 .....	113
第三节	铣床的主要附件 .....	116
第四节	典型铣削基本工艺 .....	119
第五节	铣削实训实例 .....	124
复习思考题	.....	125

第八章	刨削和磨削 .....	126
第一节	刨削 .....	126

第二节	磨削 .....	133
复习思考题	.....	144
第九章	钳工 .....	145
第一节	划线 .....	145
第二节	锯削 .....	148
第三节	锉削 .....	150
第四节	錾削 .....	152
第五节	钻削 .....	154
第六节	扩孔、铰孔、绞孔 .....	155
第七节	攻螺纹与套螺纹 .....	156
第八节	装配 .....	159
第九节	锤子制作步骤 .....	160
复习思考题	.....	162

## 第四篇 数控加工

第十章	数控加工基础 .....	165
第一节	数控机床概述 .....	165
第二节	数控机床坐标系 .....	170
第三节	数控加工编程 .....	174
复习思考题	.....	180
第十一章	数控车削 .....	181
第一节	数控车削概述 .....	181
第二节	数控车削编程基础 .....	185
第三节	数控车床对刀 .....	202
第四节	数控车削实训 .....	209
复习思考题	.....	210
第十二章	数控铣削 .....	211
第一节	数控铣削概述 .....	211
第二节	数控铣削编程基础 .....	220
第三节	数控铣床对刀 .....	236
第四节	数控铣削实训 .....	239
第五节	加工中心及柔性制造 .....	241

复习思考题 .....	246
-------------	-----

 **第五篇 特种加工** 

第十三章 电火花加工 .....	250
第一节 电火花加工基本知识 .....	250
第二节 电火花线切割加工 .....	252
第三节 电火花成形加工 .....	265
复习思考题 .....	272
第十四章 3D 打印 .....	273
第一节 3D 打印的基本知识 .....	273
第二节 3D 打印的主要工艺方法 .....	277
第三节 3D 打印实训 .....	281
复习思考题 .....	287
第十五章 激光加工 .....	288
第一节 激光及激光加工基本原理 .....	288
第二节 激光加工应用 .....	292
复习思考题 .....	296
参考文献 .....	297

# 第一篇

---

## 工程材料基本知识



# 第一章 常用机械工程材料

材料是人类社会生产和生活的物质基础，是人类文明发展史的重要标志。用于生产制造机械工程构件、零件和工具的材料统称为机械工程材料。常用的机械工程材料可以分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类（见图 1-1），其中尤以金属材料的应用最为广泛。本章主要介绍金属材料的成分、性能及其应用方面的有关知识。

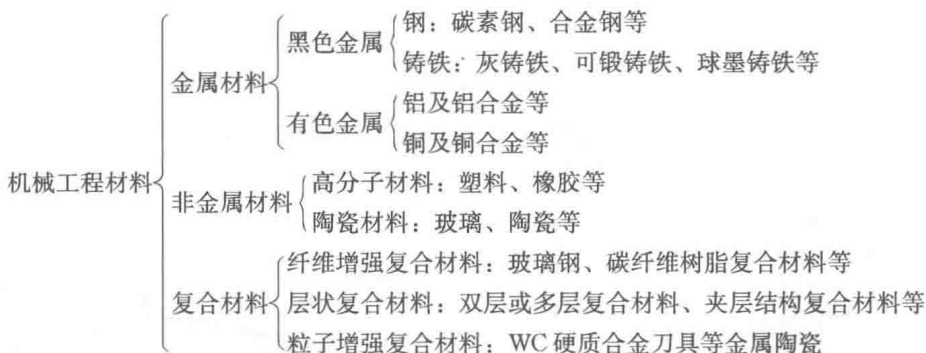


图 1-1 机械工程材料分类

## 第一节 金属材料的力学性能

金属材料在外力作用下所表现出来的性能称为力学性能，它包括强度、塑性、硬度和冲击韧度等。材料的这些力学性能指标可以通过试验来测定，并以数据来反映，它们是工程设计和材料选用的重要依据。

### 一、强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。它是衡量零件本身承载能力（即抵抗失效能力）的重要指标。强度是机械零部件首先应满足的基本要求。

工程上常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度，这两个强度指标可通过静拉伸试验来测定。试验时将符合国家标准规定的拉伸试样（图 1-2a）的两端装夹在材料拉伸试验机的两个夹头（图 1-3）上，缓慢加载，试样逐渐变形并伸长，直至被拉断为止（图 1-2c）。在拉伸过程中，试验机可自动绘制出以拉力（载荷） $F$  为纵坐标，试样变形量  $\Delta L$  为横坐标的拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图 1-4 所示。

在低碳钢的拉伸曲线中， $OE$  段外力较小，载荷与伸长量呈线性关系，当载荷去除后，试样恢复原来的形状和尺寸，即试样处于弹性变形阶段， $E$  点应力为材料的弹性极限。外力超过  $F_E$  后，试样除产生弹性变形外，还产生了塑性变形，即外力去除后，试样不能恢复原长。当外力增大到  $F_S$  时，曲线从  $S$  点开始几乎为水平线段，这说明载荷不增大而伸长量却在继续增加，这种现象称为“屈服”， $S$  点称为屈服点。这一阶段的最大和最小应

力分别称为上屈服强度和下屈服强度，分别用  $R_{EH}$  和  $R_{EL}$  表示，单位 MPa。

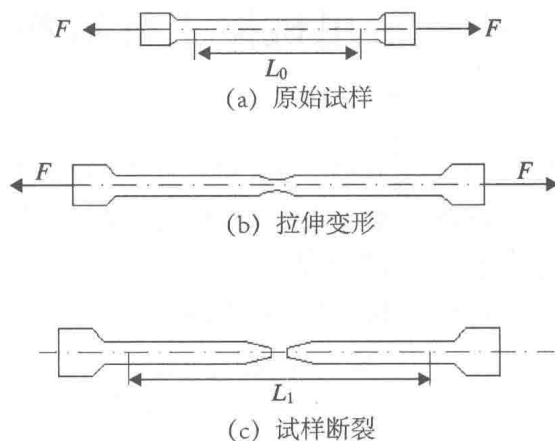


图 1-2 拉伸试样

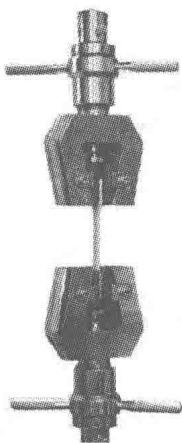


图 1-3 拉伸试验机夹持部分

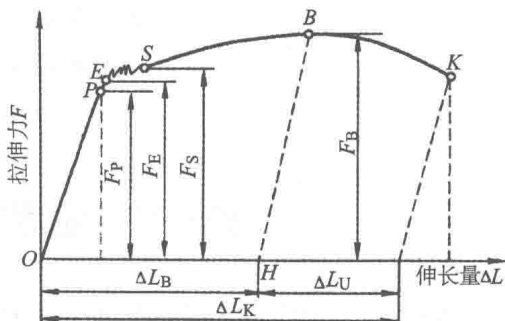


图 1-4 低碳钢拉伸曲线图

试样屈服后，开始产生明显的塑性变形。当拉力超过  $F_S$  后，随拉力增大，塑性变形明显增大。当拉力增大到  $F_B$  时，试样局部开始变细，产生“缩颈”（图 1-2b）。由于横截面积缩小，使试样继续变形所需拉力减小，到  $F_K$  时试样在缩颈处被拉断。试样在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度，用  $R_m$  来表示，单位 MPa。

屈服强度和抗拉强度是零件设计和选材的重要依据。

## 二、塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力。

工程中常用塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。断后伸长率是指试样拉断后的伸长量与原来长度之比的百分率，用符号  $A$  表示；断面收缩率是指试样拉断后，断面缩小的横截面积与原来横截面积之比的百分率，用符号  $Z$  表示。它们在标准试样的拉伸试验中可以同时测出。

断后伸长率和断面收缩率越大，材料的塑性越好；反之，则塑性越差。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件，也是保证机械零件工作安全，不发生突然脆断的必要

条件。一般断后伸长率达到 5% 或断面收缩率达到 10% 即可满足大多数零件的使用要求。

### 三、硬度

硬度是指金属材料表面抵抗硬物压入的能力，或者说是指金属表面对局部塑性变形的抗力。硬度指标是检验毛坯或成品件、热处理件的重要性能指标，常用的有布氏硬度和洛氏硬度两种，它们需在相应的硬度计上测出。

#### 1. 布氏硬度

布氏硬度的测定原理：用一定大小的试验力  $F(N)$ ，把直径为  $D(mm)$  的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属的表面（如图 1-5 所示），保持规定时间后卸除试验力，用读数显微镜测出压痕平均直径  $d(mm)$ ，然后根据压痕直径、压头直径及所用载荷从布氏硬度表中查出材料的布氏硬度值。

布氏硬度为压痕单位球面积上承受的载荷，单位为  $N/mm^2$ （但一般都不写出）。用钢球压头时，以 HBS 表示；用硬质合金压头时，以 HBW 表示。

布氏硬度的特点：一般来说，布氏硬度值越小，材料越软，其压痕直径越大；反之，布氏硬度值越大，材料越硬，压痕直径越小。布氏硬度测量的优点是具有较高的测量精度，压痕面积大，能在较大范围内反映材料的平均硬度，测得的硬度值比较准确，数据的重复性好。

布氏硬度的应用：布氏硬度测量法适用于铸铁、非铁合金、各种退火及调质的钢材，不宜测量太硬、太薄和表面不允许有较大压痕的试样或工件。

#### 2. 洛氏硬度

洛氏硬度的测定是用一个顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.588\text{ mm}$  的淬硬钢球，在一定载荷下压入被测材料表面，由压痕深度求出材料的硬度。根据试验材料硬度的不同，可采用三种不同标度 HRA、HRB 和 HRC 来表示（见表 1-1），其中 HRC 是机械制造业中应用最多的硬度试验方法。压痕愈浅，硬度愈高。洛氏硬度可从硬度计上直接读出，由于其压痕小，可用于成品的检验。

表 1-1 三种洛氏硬度的符号、试验条件和应用举例

符号	压头	载荷/ $N(kgf)$	应用举例
HRA	顶角 $120^\circ$ 圆锥的金刚石	588(60)	用于硬度极高的材料(如硬质合金等)
HRB	直径 $1.588\text{ mm}$ 淬硬钢球	980(100)	用于硬度较低的材料(如退火钢、铸铁、有色金属等)
HRC	顶角 $120^\circ$ 圆锥的金刚石	1470(150)	用于硬度很高的材料(如淬火钢、调质钢等)

### 四、冲击韧度

前面所述均是在静载荷作用下的力学性能指标，但许多机械零件服役过程中还经常受到各种冲击动载荷的作用，如蒸汽锤的锤杆、柴油机的连杆和曲轴等在工作时都受到冲击载荷的作用。承受冲击载荷的工件不仅要求具有高的硬度和强度，还必须要具有抵抗冲击载荷的能力。

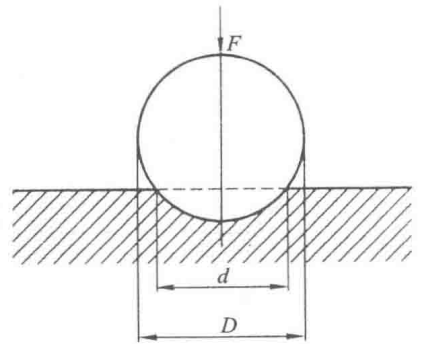


图 1-5 布氏硬度的测定原理图

金属材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的能力称为冲击韧度。冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。

在一次摆锤冲击试验机试验时，冲击韧度是用一次冲断试样的单位面积上所消耗的功的大小来表示。当冲断试样所消耗的功愈大，其冲击韧度愈好。试验时，将标准试样（图 1-6）放在摆锤冲击试验机（图 1-7）的支座上，让摆锤从一定高度落下冲击试样。

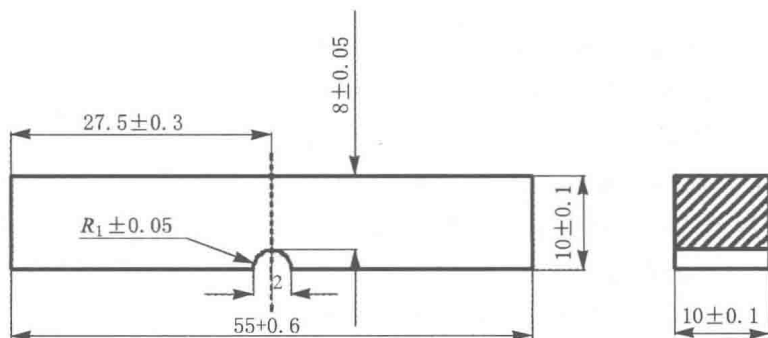


图 1-6 冲击试样

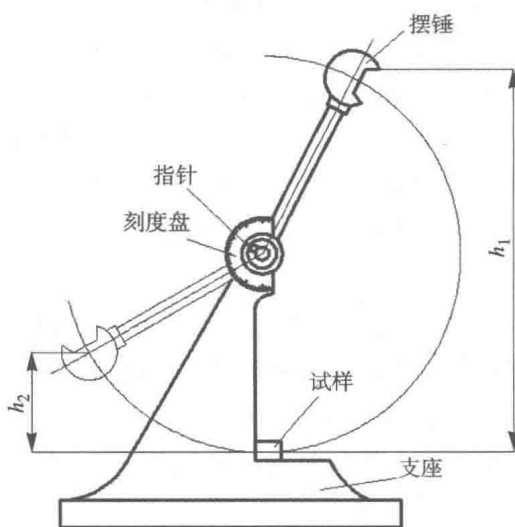


图 1-7 摆锤冲击试验机

材料的冲击韧度可用下式计算

$$\alpha_k = \frac{W_K}{A}$$

式中： $\alpha_k$ ——冲击韧度 ( $J/cm^2$ )；

$W_K$ ——打断试样的冲击吸收功 (J)；

$A$ ——试样缺口处的横截面积 ( $cm^2$ )。

$\alpha_k$  越大，则材料的韧性越好。在冲击载荷下工作的零件，要求材料具有一定的冲击韧度。

## 第二节 常用机械工程材料

在机械制造和工程上应用最广泛的是金属材料，主要是钢铁材料和铜、铝等有色金属。

### 一、钢铁材料

钢铁是以铁、碳为主要成分的合金，是应用最广泛的金属材料，包括碳素钢、合金钢和铸铁。碳素钢和铸铁均为铁碳合金，在冶炼时人为地加入合金元素就成为合金钢和合金铸铁。

#### (一) 碳素钢

碳素钢又称为碳钢，是含碳量小于 2.11% 的铁碳合金，并含有少量 S、P、Si、Mn 等元素。碳钢具有较好的力学性能和工艺性能，且价格较为低廉，因而应用很广。对碳钢性能影响最大的是钢中碳的质量分数 ( $w_C$ )。

##### 1. 碳钢的分类

碳钢的常用分类方法有以下三种：

(1) 按碳钢中碳的质量分数不同可分为低碳钢 ( $w_C \leq 0.25\%$ )、中碳钢 ( $0.25\% < w_C \leq 0.60\%$ ) 和高碳钢 ( $w_C > 0.60\%$ )。

(2) 按碳钢的质量分类，主要以钢中有害元素 S、P 等含量不同来划分，可分为普通碳素钢 ( $w_S \leq 0.050\%$ ,  $w_P \leq 0.045\%$ )，优质碳素钢 ( $w_S \leq 0.035\%$ ,  $w_P \leq 0.035\%$ ) 和高级优质碳素钢 ( $w_S \leq 0.025\%$ ,  $w_P \leq 0.030\%$ ，如 T8A、T10A 钢，在牌号后加“A”)。

(3) 按钢的用途不同可分为碳素结构钢（用于制造轴、齿轮等机器零件和桥梁、船舶等工程构件，一般属于中、低碳钢）、碳素工具钢（用于制造刀具、模具、量具等各种工具，一般属于高碳钢）。

##### 2. 碳钢的牌号及用途

碳钢的牌号及用作见表 1-2。

#### (二) 合金钢

在碳钢中有意识地加入一种或几种合金元素，以改善和提高其性能，这种钢称为合金钢。如在 40 钢中加入 1% 左右的铬就成为 4Cr 合金钢。合金钢中常加入的合金元素有锰 (Mn)、硅 (Si)、铬 (Cr)、镍 (Ni)、钼 (Mo)、钨 (W)、钒 (V)、钛 (Ti)、铌 (Nb)、锆 (Zr)、稀土元素 (Re) 等。合金钢具有优良的力学性能，多用于制造重要的机械零件、工具、模具和工程构件，以及特殊性能的工件，但其价格较高。

##### 1. 合金钢的分类

按合金元素含量的不同，合金钢可分为低合金钢（合金元素总含量  $< 5\%$ ）、中合金钢（合金元素总含量为  $5\% \sim 10\%$ ）、高合金钢（合金元素总含量  $> 10\%$ ）。

按用途不同，合金钢可分为以下三类：

(1) 合金结构钢：用于制造机械零件和工程构件；

(2) 合金工具钢：用于制造各种刀具、模具、量具等；

(3) 特殊性能钢：用于制造耐蚀、耐磨、耐热等某些特殊性能工件，如不锈钢、耐热

钢、耐磨钢等。

## 2. 合金钢的牌号及用途

合金钢的牌号及用途见表 1-3。

表 1-2 碳钢的牌号及用途

类别	牌号举例	牌号说明	用途举例
普通碳素结构钢	Q235AF (屈服强度为 235 MPa, 质量为 A 级的沸腾钢)	牌号由代表屈服强度的字母、屈服强度的数值、质量等级符号、脱氧方法四个部分按顺序组成。Q 为“屈”的汉语拼音首字母, 数字为屈服强度 (MPa), 质量分为四个等级 (A、B、C、D), 自左至右依次升高, F、Z、TZ 依次表示沸腾钢、镇静钢、特殊镇静钢	常用牌号有 Q215、Q235A、Q275 等, 主要用于制造如开口销、螺母、螺栓、桥梁结构件等普通机械零件
优质碳素结构钢	45 (平均含碳量为 0.45%)、65Mn	牌号用二位数表示, 数字为钢的平均含碳量的万分之几。含 S、P 量合乎优质钢的要求, 化学元素符号 Mn 表示钢的含锰量较高	常用牌号有 20、35、45、65 钢等。用于制造轴、齿轮、连杆等重要零件
碳素工具钢	T10、T10A (平均含碳量为 1.0%, A 表示高级优质钢)	牌号由字母 T+数字组成。T 为“碳”的汉语拼音首字母, 数字表示钢中平均含碳量的千分之几。含 S、P 量合乎优质钢的要求, 有“A”则应达到高级优质钢的要求	常用牌号有 T8、T10、T12 等, 主要用于制造低速切削刀具、量具、模具及其他工具
铸造碳钢	ZG230-450 (屈服强度为 230 MPa, 抗拉强度为 450 MPa 的碳素铸钢件)	ZG 为“铸钢”的汉语拼音首字母, 后面的数字, 第一组代表屈服强度 (MPa), 第二组代表抗拉强度 (MPa)	常用来铸造形状复杂而需要一定强度、塑性和韧性的零件

表 1-3 合金钢的牌号及用途

类别	举例	编号说明	用途举例
合金结构钢	20CrMnTi 60Si2Mn	二位数字+元素符号及数字。前面的二位数字表示钢中平均含碳量的万分之几。元素符号表示所加入的主要合金元素, 其后面的数字为该合金元素平均含量的百分之几, 当合金元素的平均含量 1.5% 时, 此数字省略, 只标合金元素符号。如合金弹簧钢 60Si2Mn, $w_c$ 为 0.60%, $w_{Si}$ 为 2%, $w_{Mn} < 1.5%$ ; 若为高级优质钢, 则在钢号后面加“A”	常用合金结构钢牌号有 20CrMnTi, 40Cr, 60Si2Mn 等, 主要用于制造承载较大, 机械性能要求较高的机械零件和工程构件
合金工具钢	9SiCr CrWMn	一位数字+元素符号及数字。前面的一位数字表示钢中的平均含碳量的千分之几。当平均含碳量大于等于 1% 时, 不标注平均含碳量。“元素符号及数字”的含义与合金结构钢相同。如刀具钢 9SiCr, $w_c = 0.9%$ , $w_{Si, Cr} < 1.5%$ , (Si、和 Cr 的含量都小于 1.5%); Cr12 表示 $w_c \geq 1.0%$ 、 $w_{Cr} = 12%$ 的冷作模具钢	常用合金工具钢牌号有 9Mn2V、9SiCr、CrWMn、W18Cr4V、Cr12MoV 等。主要用于制造形状复杂、尺寸较大的模具, 高速切削的刀具和量具等
特殊性能钢	0Cr18Ni9 1Cr13	编号方法基本与合金工具钢相同, 当 $w_c \leq 0.08%$ 时, 在钢号前以“0”表示; 当 $w_c \leq 0.03%$ 时, 在钢号前面以“00”表示。如 3Cr13, 表示 $w_c$ 为 0.3%, $w_{Cr}$ 为 13% 的不锈钢	主要用于制造耐腐蚀要求较高的器件, 汽轮机叶片, 发动机进气、排气阀门, 蒸汽和气体管道, 以及车辆履带、挖掘机铲齿、破碎机颚板和铁路道叉等

### (三) 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11%，并含有比钢较多的 Si、Mn 元素及 S、P 等杂质的铁碳合金。按碳的存在形式不同，铸铁可分为以下几种：

(1) 白口铸铁。铸铁中的碳全部以化合物形式存在，断口呈银白色，性能硬而脆，工程中很少应用，多用作炼钢或铸铁生产的原料。

(2) 麻口铸铁。组织介于白口铸铁和灰口铸铁之间，具有较大的脆性，工业上也很少使用。

(3) 灰口铸铁。铸铁中的碳全部或大部分以游离的石墨形式存在，断口呈暗灰色。与钢相比，铸铁的抗拉强度、塑性和韧性较差，但具有良好的铸造性、减摩性、减振性、切削加工性和对缺口的低敏感性，而且价格低廉，因而应用广泛。

灰口铸铁的组织相当于由钢的基体和石墨组成，石墨的力学性能很低 ( $R_m=20$  MPa,  $HBS=3\sim5$ ,  $A=0\%$ )，对铸铁的性能影响很大。按石墨形态不同，灰口铸铁又分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁等，它们的牌号、性能及用途见表 1-4。

表 1-4 灰口铸铁的牌号、性能及用途

类别	举例	编号说明	用途举例
灰铸铁	HT200 ( $R_m \geq 200$ MPa)	HT 为“灰铁”的汉语拼音首字母，其后的数字表示最低抗拉强度 (MPa)	石墨呈片状，对基体的割裂破坏作用较大，但对抗压性能影响不大。生产工艺简单，价格低廉，工业中应用最为广泛。常用的牌号有 HT150、HT200、HT350 等，主要用于制造结构复杂的受力件，如机床床身、机座、导轨、箱体等
可锻铸铁	KTH350-10 ( $R_m \geq 350$ MPa, $A=10\%$ , 黑心可锻铸铁)	KT 为“可铁”的汉语拼音首字母，H 表示“黑心”基体 (Z 表示“珠光体”基体)，其后第一组数字表示最低抗拉强度 (MPa)，后一组数字表示断后伸长率 (%)	石墨呈团絮状，对基体的割裂作用比片状石墨要小，因而力学性能比灰铸铁好，有一定的强度和塑性，但仍不能锻造。常用牌号有 KTH330-08、KTH370-12、KTZ650-02 等，主要用于制造形状复杂、工作时承受冲击、振动、扭转等载荷的薄壁零件，如汽车、拖拉机后桥壳、转向器壳、管子接头和扳手等
球墨铸铁	QT400-15 ( $R_m \geq 400$ MPa, $A=15\%$ )	QT 为“球铁”的汉语拼音首字母，其后第一组数字表示最低抗拉强度 (MPa)，后一组数字表示断后伸长率 (%)	石墨呈球状，对基体的割裂破坏作用最小，故强度和塑性都较好。常用牌号有 QT600-3、QT700-2、QT900-2 等，主要用于制造一些受力复杂、承受载荷较大的零件，如曲轴、连杆、凸轮轴、齿轮等

## 二、有色金属材料

通常把铁及其合金称为黑色金属，而把 Cu、Al、Zn、Mg、Ti 等非铁金属及其合金称为有色金属。有色金属具有优良的性能，虽产量不多，价格也贵，但仍是机械制造和工程上不可缺少的材料。有色金属品种繁多，在生产中常用来制造有特殊性能要求的零件和构件。常用的有铜、铝及其合金。

### 1. 铜及铜合金

纯铜又称紫铜，具有优良的导电性、导热性和耐蚀性。纯铜的强度低、塑性好，工业纯铜 (如 T2、T3 等) 主要用于制造电缆、油管等，很少用来制造机器零件。

黄铜是以锌为主要合金元素的铜合金。加入适量的 Zn，能提高铜的强度、塑性和耐